

JAHRES- BERICHT 2023/2024

PHWT-INSTITUT

phwt

Die unternehmende
Hochschule für die Region

**Private Hochschule
für Wirtschaft und Technik
Vechta/Diepholz**
PHWT-INSTITUT

Ann-Christin Bajohr
Assistenz der Institutsleitung
Am Campus 3
49356 Diepholz
Tel. 05441 992-156
bajohr@phwt.de



Sehr geehrte Leser:innen,

seit dem Jahr 2021 wird an der Privaten Hochschule für Wirtschaft und Technik zentral unter dem Dach des PHWT-Instituts geforscht. Nach dem ersten Tätigkeitsbericht aus dem Jahr 2022 folgt nun eine Zusammenfassung der Aktivitäten aus den Geschäftsjahren 2023 und 2024.

Die Forschungsaktivitäten an der Privaten Hochschule für Wirtschaft und Technik sind elementarer Teil der Daseinsberechtigung einer Hochschule für angewandte Wissenschaften. Darüber hinaus dienen sie aber auch im Rahmen der Wirtschaftsförderung der Stärkung der Industrie im Umfeld der PHWT. Hier ist das PHWT-Institut sowohl im öffentlich geförderten Bereich tätig als auch bilateral über die entsprechenden Netzwerke des Kollegiums.

Eine auffällige Erweiterung im vorliegenden Tätigkeitsbericht ist der Ausbau der Promotionsaktivitäten im Forschungsfeld der PHWT. Insbesondere die jungen Wissenschaftler erlauben es der PHWT, durch entsprechende Forschungsleistungen öffentliche Fördermittel zu akquirieren.

Ein herzlicher Dank gilt allen Zuwendungsgebern sowohl von öffentlicher Stelle als auch den privaten Unterstützern und Stipendiengebern. Ohne ihre Unterstützung wäre die Forschung an der PHWT nicht möglich.

Ich wünsche beim Lesen des Tätigkeitsberichtes viel Freude und hoffe, auch Sie vielleicht bald am PHWT-Institut als interessierten Kooperationspartner begrüßen zu können!

A handwritten signature in blue ink that reads "Carsten Bye".

Prof. Dr.-Ing. Carsten Bye
Leitung PHWT-Institut



phwt
Private Hochschule
für Wirtschaft und Technik

3

FUTUR TECHNIK

phwt

phwt

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern.....	6
Promotionen und Promotionsvorhaben.....	28
Veröffentlichungen	42
Kontaktdaten der PHWT-Mitarbeitenden im Tätigkeitsbericht	43

Aus der aktuellen Forschung

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

CoMelt – Entwicklung einer neuen Mischeinheit für den Einsatz im Spritzgussverfahren zur Mischung und Homogenisierung einer Schmelze aus Rezyklat mit der Schmelze einer spezifizierten Werkstoffqualität (Neuware)

Einleitung

Im Jahr 2018 standen 29,1 Millionen Tonnen gesammelter Kunststoffabfall auf dem europäischen Recyclingmarkt zur Verfügung, von denen 42,6 Prozent thermisch verwertet wurden. Knapp 25 Prozent wurden auf Deponien eingelagert. Die kritischsten Hemmnisse, warum Rezyklate nicht vermehrt eingesetzt werden, sind u. a.:

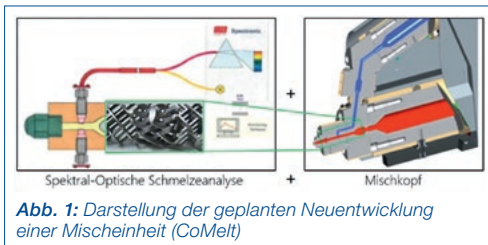
- die schlecht vorhersagbaren Bauteileigenschaften
- Probleme bei der Schmelze-Homogenisierung durch andere Korngrößen und Verunreinigungen im Rezyklat
- Beeinträchtigung der Prozessfenster durch Molmassenabbau in den Verarbeitungs- und Recyclingprozessen

Es braucht also eine neue Lösung, mit der die technischen Anforderungen an das Kunststoffbauteil und an die entsprechenden Werkstoffe auch mit dem Einsatz von Rezyklaten erfüllt werden.

Beschreibung

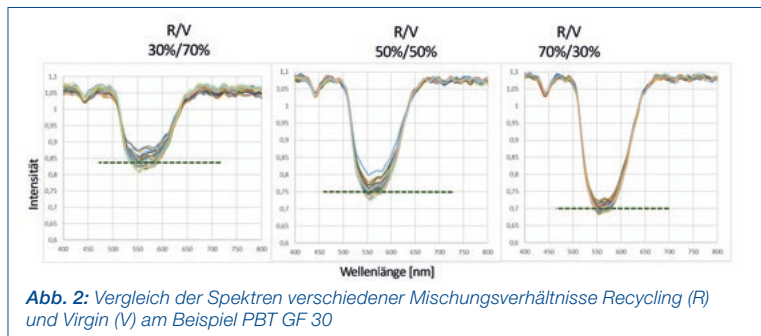
Aus diesem Grund wurde 2021 unter Projektführung der Firma Merkutec GmbH & Co. KG das gemeinsame »CoMelt«-Projekt gestartet. Es handelt sich um ein Kooperationsprojekt im Rahmen des niedersächsischen Innovations-Förderprogramms EFRE für Forschung und Entwicklung in Unternehmen.

Als Ziel sollen sowohl ein Prozess als auch ein Produkt (Mischeinheit) entwickelt werden, mit denen der Rezyklatanteil in technischen Produkten im Spritzgussprozess von 4 Prozent auf bis zu 30 Prozent erhöht werden kann.



Durch eine bessere Homogenisierung von Neuware und Rezyklat aufgrund des separaten Aufschmelzens in zwei Dosierschnecken soll eine konstantere Verarbeitung des Mahlguts bei gleichzeitiger Erhöhung des Mahlgutanteils im Gemisch Neuware-Rezyklat erreicht werden. Die Inline-Messung der Schmelzequalität mittels spektral-optischer Analyse als Referenz für die Bauteilqualität wird die Steuerung der Rezyklatdosierung erlauben und damit die oben beschriebenen Hemmnisse eliminieren.

Erste Versuche mit dem neu entwickelten Mischkopf und der speziell für den Spritzguss entwickelten Spektroskopiesonde weisen zum einen die technische Funktionalität des Systems unter den äußerst anspruchsvollen Spritzgussbedingungen nach und erlauben eine optische Differenzierung verschiedener Mischungsverhältnisse von KST-Recyclat und KST-Neuware über den spektral-optischen Fingerabdruck im VIS-Bereich.



Die Korrelation der mechanischen Eigenschaften zum Rezyklatanteil wurde durch Prüfung der mechanischen, viskosen und thermischen Eigenschaften der jeweiligen Prüfteile nachgewiesen.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Bye, B. Sc. S. Kray, Dipl.-Ing. A. Schmitz

Fördersumme PHWT: 221.000 Euro

Bearbeitungszeitraum: 01.03.2021 – 31.12.2022

Zuwendungsgeber:



Aus der aktuellen Forschung

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

CompositeConstruct – Entwicklung von hochintegrativen, modularen Wand- und Dachelementen in Faserverbund-Sandwichbauweise für modulare, flexible Lagerhallen

Einleitung

Lagerhallen sind für die Industrie und Logistik von grundlegender Bedeutung, insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Relevanz des Just-in-time-Prinzips. Der Markt für Logistikimmobilien hat in den vergangenen Jahren eine signifikante Expansion erfahren, wobei mittelständische Unternehmen in Deutschland modular aufgebaute Lagerlösungen präferieren. Darüber hinaus bieten sich potenzielle Einsatzgebiete im Bereich von Behelfsbauten für Krisengebiete und den Katastrophenschutz.

Beschreibung

Aus diesem Grund wurde von November 2022 bis Oktober 2024 das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) geförderte Kooperationsprojekt »CompositeConstruct« in Kooperation mit der Firma Elmtech Verbundelemente GmbH erfolgreich bearbeitet. Das Ziel des Projekts war die Entwicklung eines modularen Hallenkonzepts aus

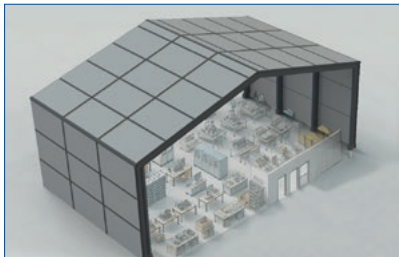


Abb. 1: Darstellung des Hallenmodells

flächigen Sandwichelementen und Verbindungselementen in Faserverbundbauweise, das innerhalb von 3,5 Tagen ohne schweres Gerät montiert und demontiert werden kann. Besonderer Fokus lag auf Leichtbau und Funktionsintegrationen, einschließlich einer hohen thermischen Isolierung und der Vermeidung von Wärmebrücken durch den Verzicht auf metallische Komponenten.

Im Projekt wurde ein modulares Baukonzept aus Faserverbundwerkstoffen entwickelt, das Anforderungen an Leichtbau, Stabilität und Umweltfreundlichkeit erfüllt. Zunächst wurden mithilfe von experimentellen Untersuchungen und 3D-Simulationen die mechanischen Eigenschaften von Composite-Platten untersucht, wobei optimale Kombinationen aus Steifigkeit, Druckfestigkeit und Biegesteifigkeit ermittelt wurden. Gleichzeitig wurden Kräfte innerhalb des Sandwich-Moduls analysiert, um Durchbiegung und Längsdeformationen zu begrenzen.

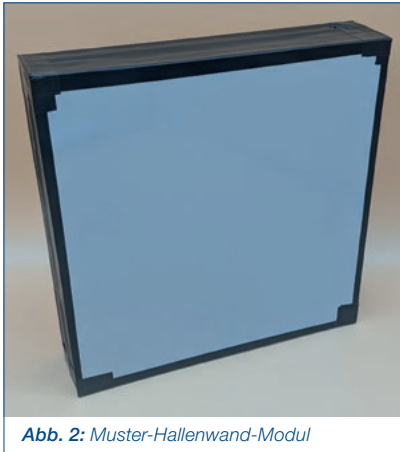


Abb. 2: *Muster-Hallenwand-Modul*

Die Herstellung erfolgte mit flexiblen Hybridverfahren, die ohne Spezialmaschinen eine kosteneffiziente Fertigung ermöglichen. Die simulierten Parameter wurden fortwährend durch mechanische Tests validiert, während mit thermischen Belastungstests (bis 100 °C) die Formstabilität und Wärmeleitfähigkeit der Materialien geprüft wurde. Die Steifigkeit wurde durch Anpassung des Faser-Matrix-Verhältnisses weiter optimiert.

Ein Schwerpunkt war die Entwicklung und Simulation von Verbindungselementen.

FEM-Analysen ermöglichten die Konstruktion von Wand- und Dachmodulen, die gezielt auf Stabilisierung gegen Längs- und Querauslenkungen ausgelegt sind. Eine neue Methode zur Faserorientierung entlang von Spannungslinien verbesserte die mechanische Leistung der Bauteile. Dachverbindungselemente wurden als tragfähige Strukturen mit einer Last von 300 kg/m² ausgelegt, während dynamische Belastungstests, wie durch Windkräfte, Verformungen minimierten.

Werkzeugformen wurden entwickelt, um Wärmebrücken und Materialspannungen zu reduzieren. Abschließende Realtests bestätigten die Funktionalität und Stabilität des Systems unter verschiedenen Umweltbedingungen und bewiesen die Praxistauglichkeit der modularen Bauweise.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter, M.Sc. O. Kruse

Fördersumme PHWT: 220.000 Euro

Bearbeitungszeitraum: 01.11.2022 – 31.10.2024

Zuwendungsgeber:



Aus der aktuellen Forschung

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

Composite Schalung – Entwicklung einer modularen, selbsttragenden, integralen Kunststoff-Schalung mit integrierter Sensorik zur Verlängerung der Lebensdauer von Brücken und einer kontinuierlichen Zustandsüberwachung

Einleitung

Das deutsche Verkehrsnetz umfasst rund 120.000 Brücken, von denen über 40 Prozent in den nächsten Jahren saniert werden müssen. Gerade älteren Brückenbauwerken machen dabei erhöhte Verkehrsaufkommen und Betriebsbeanspruchungen oder aggressive Streusalze zu schaffen. Innovative Bauweisen und Materialien sorgen für schnellere und langlebigere Lösungen.

Beschreibung

Aus diesem Grund wurde von Januar 2022 bis Dezember 2023 das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) geförderte Kooperationsprojekt »Composite Schalung« erfolgreich bearbeitet. Die Unternehmen LohrElement und Autmaring Engineering erforschten gemeinsam mit der PHWT ein innovatives modulares und insbesondere selbsttragendes Faserverbund-Schalungssystem für Betonbrücken mit integrierter Sensorik. Diese liefern Zustandsdaten von Beton und Bauwerk. Die Sensorik ermöglicht effizientere Prüfungen, eine Schadenserkennung und vorausschauende Sanierungsplanung, was die Brückenlebensdauer erhöht und Wartungskosten senken kann.

Im Rahmen des Projekts wurde verschiedene experimentelle und numerische Methoden eingesetzt, um das Projektziel zu erreichen. So wurden Versuchsreihen mit Unterstützung von optischen Messsystemen (GOM ARAMIS) und Röntgenanlagen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Faser-



Abb. 1: Darstellung des neuen Schalungskonzepts (Composite Schalung)

anordnung durchgeführt. Diese Versuchsergebnisse wurden zusammen mit den in »Eurocode 1« ermittelten Randbedingungen des Brückenbaus in ein digitales Analysemodell implementiert. Mittels anschließender FEM-Analysen wurde eine ausreichende Tragfähigkeit des GFK-Schalungssystems rechnerisch nachgewiesen.

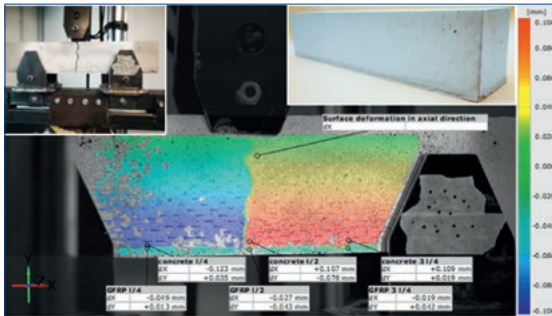


Abb. 2: 3-Punkt-Biegeversuch für Beton-GFK-Hybridstruktur (links oben), GOM ARAMIS Messsystem zur Ermittlung der Verformung von der Strukturoberfläche



Abb. 3: Integrierte Sensorik in dem Prototyp (links), 4-Punkt Biegeversuch für Prototyp

Zur Validierung der Forschungsergebnisse wurde gegen Ende dieses Projekts ein skaliertes Prototyp (Länge 2,00 m, Breite 0,75 m) mit integrierter Sensorik aufgebaut und in Form eines statischen 4-Punkt-Biegeversuchs mit einer Belastung von 2 t getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Hauptverformung des Messbereichs in der Mitte der Brücke ca. 0,05 – 0,20 Prozent betragen. Dies entspricht den Simulationsergebnissen aus der FEM-Analyse.

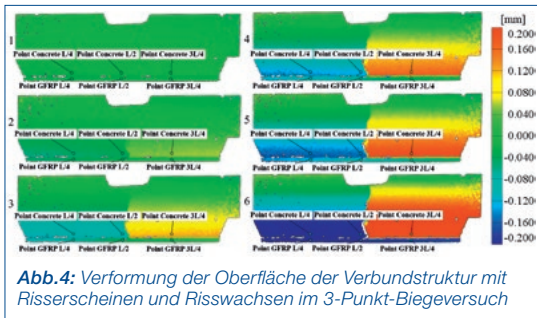


Abb.4: Verformung der Oberfläche der Verbundstruktur mit Risserscheinen und Risswachsen im 3-Punkt-Biegeversuch

Diese Forschung konnte die Einsatzmöglichkeiten von GFK-Profilen als Brückenschalung nachweisen. Neben einer ausreichenden Tragfähigkeit kann die GFK-Schalung den Beton dauerhaft vor Umwelteinflüssen schützen. In zukünftigen Forschungsarbeiten werden Methoden zur Herstellung dauerhafter und stabiler Beton-GFK-Hybridstrukturen untersucht.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter, M.Sc. Z. Yang

Fördersumme PHWT: 220.000 Euro

Bearbeitungszeitraum: 01.01.2022 – 31.12.2023

Zuwendungsgeber:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Aus der aktuellen Forschung

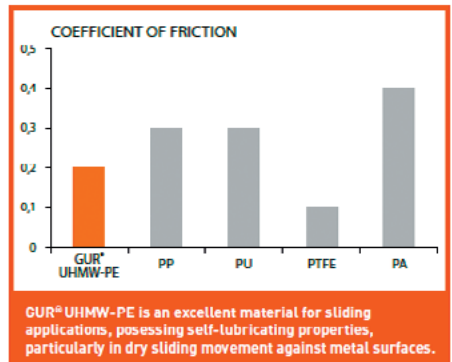
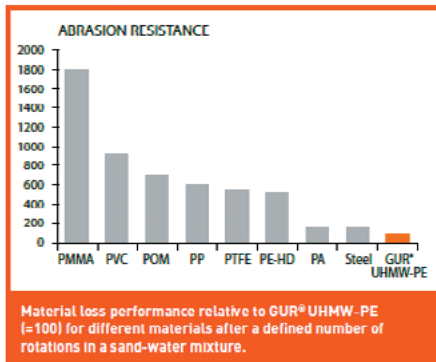
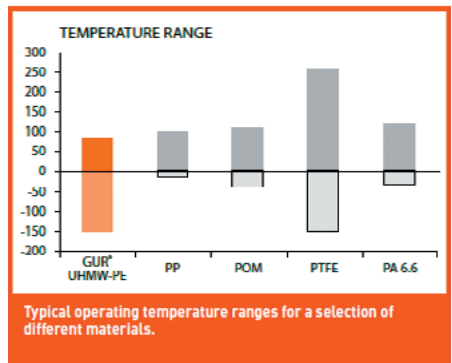
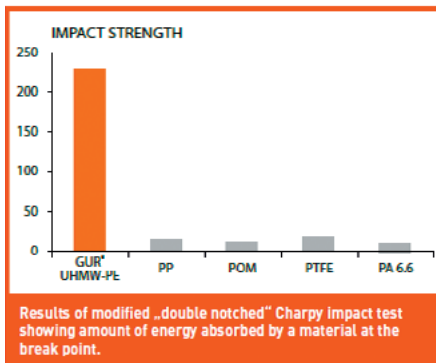
Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

Entwicklung eines Prozesses zur Verarbeitung von ultrahochmolekularem Polyethylen (UHMW-PE) im Spritzgießverfahren

Einleitung

Ultrahochmolekulares Polyethylen (UHMW-PE) zeichnet sich durch hervorragende Eigenschaften aus, die für viele Anwendungen vorteilhaft sind:

- hervorragende Kälteschlagzähigkeit
- sehr gute Gleiteigenschaften
- sehr hoher Widerstand gegen abrasiven Verschleiß
- hohe Chemikalienbeständigkeit
- sehr gute Spannungsrissbeständigkeit
- hervorragende physiologische Verträglichkeit



Eigenschaften von UHMW-PE im Vergleich zu anderen Kunststoffen
[Quelle: GUR UHMW-PE, Produktbroschüre, Celanese 2016]

Allerdings führt das hohe Molekulargewicht auch dazu, dass UHMW-PE bei Erwärmung über die Kristallitschmelztemperatur keine strömungsfähige Schmelze bildet, wie sie für die üblichen thermoplastischen Verarbeitungsverfahren erforderlich ist.

Beschreibung

Daher wird UHMW-PE üblicher Weise zu Platten versintert, aus denen anschließend in spanender Bearbeitung Bauteile gefertigt werden. In besonderen Fällen werden auch direkt Teile im Presssinterverfahren hergestellt. Beide Produktionswege sind mit langen Zykluszeiten, hohem Energieaufwand und insgesamt hohen Fertigungskosten verbunden.

Eine Verarbeitung im Spritzgießverfahren bildet die Ausnahme und ist mit starken Einschränkungen verbunden. Es müssen angepasste Verfahrensweisen entwickelt werden, um das Material reproduzierbar ohne Degradation und Qualitätsverlust im Spritzgießverfahren verarbeiten zu können. In diesem Zusammenhang sind verschiedene fortschrittliche Verfahrensweisen bisher nicht industriell für UHMW-PE umgesetzt.

Aus diesem Grund wurde 2021 bis 2023 gemeinsam mit der Firma Burwinkel Kunststoffwerk GmbH ein Projekt zur systematischen Untersuchung verschiedener Verfahrenstechniken durchgeführt. In Voruntersuchungen an der PHWT und in daran anschließender seriennaher Produktionserprobung bei Burwinkel wurden hierfür geeignete Verfahrenstechniken entwickelt. In diesem Zusammenhang wurden an der PHWT auch angepasste Untersuchungsmethoden für die Versuchsbauteile entwickelt, um die Auswirkungen verschiedener Verfahrensweisen auf Abriebverhalten, Reinigungsfähigkeit der Oberflächen usw. vergleichen zu können. Die Arbeiten wurden 2023 erfolgreich abgeschlossen.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. P. Blömer, Dipl.-Ing. T. Schröder, Dipl.-Ing. C. Kruse

Fördersumme PHWT: 220.000 Euro

Bearbeitungszeitraum: 01.04.2022 – 30.09.2023

Zuwendungsgeber:



Aus der aktuellen Forschung

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

Digital OrbIT – 5G, Virtual und Augmented Reality in der digitalen Bildung



Einleitung

Unsere Realität verändert sich – zunehmend schneller – durch den Einfluss von digitalen Technologien. Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR) oder Extended Reality (XR) halten Einzug in das private und geschäftliche Leben. Zusätzlich ermöglicht die 5G-Technologie bisher ungekannte Datenübertragungsgeschwindigkeiten und -qualitäten. Daraus ergeben sich Risiken und Herausforderungen, vor allem aber auch Chancen: Neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle entstehen, bestehende Produkte und Prozesse erfahren eine Wertsteigerung oder Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter können neue Formen der Zusammenarbeit erleben.

Beschreibung

Im Rahmen des Projekts Digital OrbIT Niedersachsen forscht die PHWT gemeinsam mit der Wirtschaftsförderung im Landkreis Harburg (WLH) unter anderem zur Anwendung von Technologien wie Virtual oder Augmented Reality in Verbindung mit 5G in der digitalen Aus- und Weiterbildung. An der Schnittstelle von Theorie und Praxis sollen Schulungs- und Weiterbildungsangebote ebenso wie neue Geschäftsmodelle entwickelt werden. Im Fokus steht dabei die Zusammenarbeit insbesondere mit kleinen und mittleren Unternehmen, aber auch mit anderen Hochschulen, Bildungsträgern oder Vereinen.

Der Digital OrbIT verfügt hierfür über zwei Satellitenstandorte in Diepholz und in Buchholz in der Nordheide, welche durch eine Förderung des Landes Niedersachsen realisiert werden konnten. Im bisherigen Projektverlauf wurden beide Labore sowie eine umfangreiche Ausstattung – darunter verschiedene AR-/VR-Brillen, Hochleistungs-Workstations sowie ein Scan- und Vermessungsmulticopter – erfolgreich in Betrieb genommen. Diese wurden bereits genutzt, um interessierte Partner über die Möglichkeiten der Technologien zu informieren. Ergänzend fanden zahlreiche bilaterale Gespräche, aber auch eine Workshopreihe statt. Hieraus haben sich bereits erste konkrete Folgeprojekte entwickelt, in denen maßgeschneiderte AR-/VR-Lösungen gemeinsam mit den Partnern der PHWT realisiert werden konnten.

Innerhalb dieser Projekte wurde u. a. für ein Unternehmen versucht, das Ausbildungskonzept zu optimieren, indem die Auszubildenden zukünftig virtuelle Schaltschrankkomponenten zusammenstellen müssen. Im Rahmen eines weiteren Projektes wurde untersucht, inwieweit ein Fertigungsprozess, wie beispielsweise das Sägen, haptisch in eine virtuelle Welt übertragbar ist. Bei einem anderen regionalen Unternehmen wurde versucht, mithilfe der AR-Technologie die firmeninterne Logistik zu modifizieren und die notwendigen Bauteile für die Produktion schneller verfügbar zu machen.

Für viele AR-/VR-Projekte wird die Erfassung von 3D-Geometrie-Daten der beteiligten Objekte benötigt. Um großflächige 3D-Objekte einzuscannen, verfügt der Standort Diepholz mittlerweile über einen entsprechenden Multicopter, wodurch zukünftig auch die Implementierung von bestimmten Gebäuden in die virtuelle Welt möglich sein wird.

Ein weiterer Meilenstein wurde Ende November erreicht: Die erfolgreiche Beantragung des ZIM-Kooperationsnetzwerks »SmartFactory 5G+ – Netzwerk zur Entwicklung technologischer Innovationen zur Umsetzung intelligenter Produktionssysteme durch den Einsatz von 5G-Technologien« gemeinsam mit 12 Partnern. Das Netzwerk wird Anfang 2025 seine Arbeit aufnehmen und hat eine Laufzeit von 3 Jahren. Gemeinsam mit der Universität Bremen, der Leuphana Universität Lüneburg und Unternehmen wie der Accelery GmbH, der Internet Marketing Services GmbH oder der multidos Hamburg GmbH wird die PHWT an innovativen Lösungen im Kontext der 5G-Technologie forschen.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter (Leitung), Dipl.-Ing. O. Berendes

Fördersumme: 187.400 Euro

Projektbudget: 225.000 Euro

Bearbeitungszeitraum: 25.05.2022–31.12.2023

Zuwendungsgeber: Land Niedersachsen



83 %



Private
Kofinanzierung

17 %

Aus der aktuellen Forschung

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

SmartFactory 5G+ Intelligente Produktionssysteme durch den Einsatz von 5G-Technologien

Einleitung

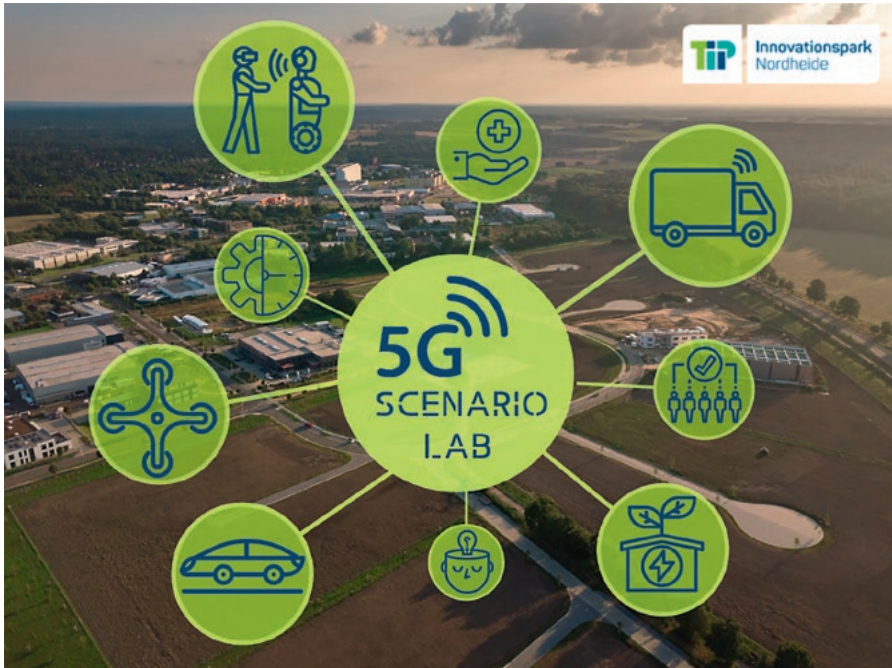
Die industrielle Produktion befindet sich an einem Wendepunkt: Traditionelle Fertigungsmethoden stoßen zunehmend an ihre Grenzen, während sich die Anforderungen an Effizienz, Flexibilität und Nachhaltigkeit drastisch erhöhen. In diesem Spannungsfeld setzt das Netzwerk »SmartFactory 5G+« an und eröffnet neue Chancen der Produktion, die durch die Integration modernster 5G-Technologien geprägt ist.

Beschreibung

Das Netzwerk verfolgt das Ziel, die industrielle Produktion durch die Integration von 5G-Technologien grundlegend zu transformieren. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung hochverbundener, effizienter und flexibler Systeme, die eine Echtzeitüberwachung und -steuerung von Produktionsprozessen ermöglichen. Durch die Kombination von IoT, KI, Robotik und Mensch-Maschine-Interaktion werden neue Geschäftsmodelle geschaffen und die Produktions- sowie Energieeffizienz gesteigert. Die Nutzung von 5G-Technologien erlaubt die sofortige Verarbeitung großer Datenmengen, wodurch präzise und schnelle Reaktionen auf Veränderungen in der Produktionsumgebung gewährleistet werden. Das Netzwerk konzentriert sich auf die Entwicklung neuer Produkte und hybrider Dienstleistungsbündel, die sowohl Betriebskosten senken als auch die Flexibilität der Produktionslinien erhöhen. Ein wesentlicher Aspekt ist die Etablierung eines kooperativen Ökosystems, in dem Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Technologieexperten zusammenarbeiten, um maßgeschneiderte Lösungen für die Industrie 4.0 zu entwickeln. Hierbei dient ein 5G-Campusnetzwerk als Testfeld und Entwicklungsplattform, um innovative Ansätze unter realen Bedingungen zu erproben. Langfristig zielt das Netzwerk darauf ab, zukunftssichere Produktionsstätten zu schaffen, die sich dynamisch an verändernde Marktbedingungen anpassen und die Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen stärken.

Das im Rahmen der Förderrichtlinie »Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWK – Innovationsnetzwerke« beantragte Vorhaben wurde im November bewilligt und hat eine Laufzeit von 36 Monaten, aufgeteilt in 3 Phasen.

Die PHWT forscht gemeinsam mit der Universität Bremen, der Leuphana Universität Lüneburg, der Wirtschaftsförderung Landkreis Harburg GmbH (WLH) und 8 Unternehmenspartnern – u. a. der Compart IT Solutions GmbH, der Detlef Coldewey GmbH, dem Ingenieurbüro Bernd Lohse GmbH, der Mack Systemberatung GmbH und der Narvika GmbH – an den oben genannten Themen. Die Netzwerkleitung übernimmt die in Rastede ansässige Embeteco GmbH & Co. KG.



5G-Reallabor im Technologie- und Innovationspark in Buchholz in der Nordheide: Die PHWT betreibt dort im Rahmen des Projekts Digital Orbit ein 5G/VR/AR-Satelliten-Forschungslabor

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter (Leitung), Dipl.-Ing. O. Berendes
Bearbeitungszeitraum: 01.11.2024 – 31.10.2027
Zuwendungsgeber: Land Niedersachsen



Aus der aktuellen Forschung

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

RB-Recycling – Entwicklung eines Recyclingverfahrens für Rotorblätter mithilfe eines innovativen Trennverfahrens zur Weiterverarbeitung der CFK-Gurte zu verschiedenen Profilgeometrien

Einleitung

Das Recycling ausgedienter Rotorblätter von Windkraftanlagen stellt eine große Herausforderung dar. Dafür gibt es im Wesentlichen zwei Hauptgründe. Erster Grund: Rotorblätter sind komplexe Multi-Material-Konstruktionen, die aus faserverstärkten Kunststoffen, Balsaholz, Strukturschäumen und anderen Materialien bestehen. Der größte Anteil eines Rotorblatts entfällt dabei auf glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK-Materialien). Diese Verbundmaterialien, die Kunststoffe und Glasfasern kombinieren, dürfen aus umwelttechnischen Gründen seit 2005 in Deutschland nicht mehr auf Mülldeponien gelagert werden. Kurz gesagt: Der Weg zur Mülldeponie ist versperrt. Zweiter Grund: Rotorblätter sind großvolumig und schwer. Ein typisches Rotorblatt mit einer Länge von 50 bis 60 Metern wiegt beispielsweise etwa 12 bis 15 Tonnen. Bei drei Rotorblättern pro Windkraftanlage ergibt sich ein Gesamtgewicht von über 36 Tonnen. Unter der Annahme, dass jährlich rund 1.300 Windkraftanlagen abgebaut werden, entsteht ein massiver Abfallberg von etwa 46.800 Tonnen. Dies wirft die dringende Frage auf: Wohin mit dem Müll aus ausgedienten Rotorblättern?

Beschreibung

Rotorblätter bestehen größtenteils aus glas- und kohlefaserverstärkten Kunststoffen (GFK- und CFK-Materialien). Diese leistungsfähigen Verbundwerkstoffe überzeugen durch ihre hervorragenden Eigenschaften: Sie sind fest, steif, langlebig und gleichzeitig leichtgewichtig.

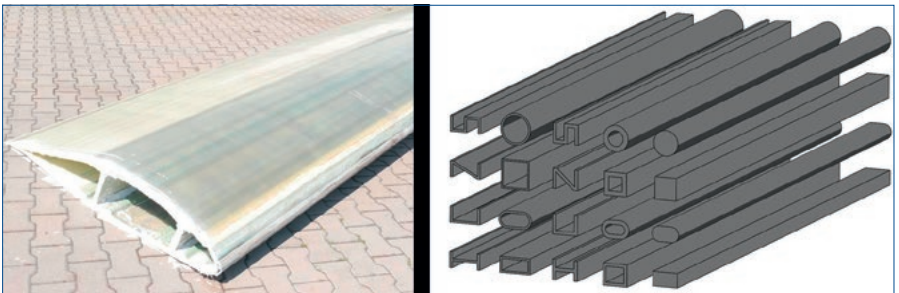


Abb. 1: Leichtbauprofile aus recycelten Rotorblättern

Im Projekt »RB-Recycling« steht die Frage im Mittelpunkt, wie diese Werkstoffe für neue Anwendungen nutzbar gemacht werden können. Der Lösungsansatz sieht vor, aus demontierten Rotorblättern Leichtbauprofile her auszutrennen (s. Abbildung 1). Diese können anschließend vielseitig in Bereichen wie dem Maschinenbau, dem Anlagenbau oder dem Automobilbau eingesetzt werden. Die zentrale technische Herausforderung des Projekts besteht darin, trotz der großen Vielfalt an Formen, Werkstoffen und Bauweisen eine standardisierte und effiziente Lösung für das Heraustrennen der Leichtbauprofile zu entwickeln.

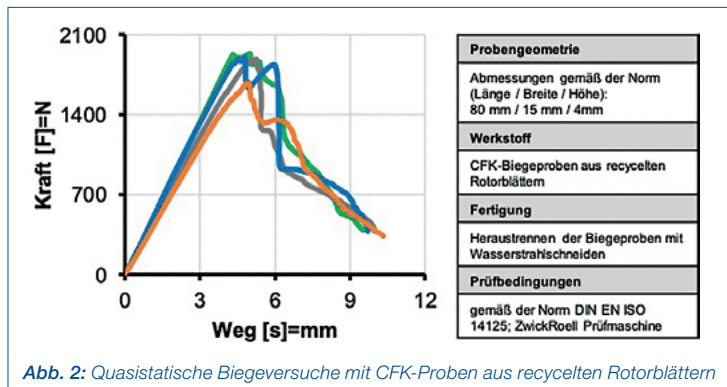


Abb. 2: Quasistatische Biegeversuche mit CFK-Proben aus recycelten Rotorblättern

Versuche mit Biegeproben aus recycelten Rotorblättern zeigen, dass CFK- und GFK-Proben auch nach über 20 Jahren Einsatz immer noch hervorragende Eigenschaften aufweisen. So erreichen beispielsweise Biegeproben (4 x 15 x 80 Millimeter) eine Bruchlast von etwa 2000 Newton (s. Abbildung 2). Der Werkstoff zeichnet sich durch ein duktiler Bruchverhalten aus, wobei die Verformungswege über 9 Millimeter liegen. Die Formänderungsenergie beträgt dabei mehr als 10 Joule. Interessanterweise bleibt das Tragvermögen der Proben auch bei gezielt eingebrachten Kerben auf der hochbeanspruchten Zugseite nahezu unverändert – der Werkstoff zeigt sich also kerbunempfindlich. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der recycelte Werkstoff hervorragend für Anwendungen geeignet ist, bei denen ein hohes Tragvermögen bei geringer Masse gefordert wird.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter, Dipl.-Ing. A. Brunner

Fördersumme PHWT: 220.000 Euro

Bearbeitungszeitraum: 01.01.2023–30.06.2025

Zuwendungsgeber:



Nicht-strukturschädigender Foliensensor zur Integration in FVK-Bauteile für die Überwachung des Aushärtvorgangs von Epoxidharzen

Einleitung

Faserverbundkunststoffe werden in vielen Bereichen als Leichtbauwerkstoffe eingesetzt. Prozesse, wie zum Beispiel das Autoklavverfahren, benötigen viel Energie und Zeit zur Herstellung der Strukturen. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Projekts ein folienbasierter Sensor entwickelt, mit dem eine In-situ-Messung des Aushärtungsprozesses von Epoxidharzen realisiert werden kann. Der Sensor misst physikalisch veränderliche Kenngrößen, beispielsweise die Kapazität und den elektrischen Widerstand des Epoxidharzes während seiner Aushärtung. Die Messwerte werden mit dem Aushärtegrad oder Prozessparametern in Korrelation gesetzt. So ist es möglich, den Herstellungsprozess in Echtzeit zu überwachen. Gleichzeitig kann der Sensor nach dem Herstellungsprozess im Bauteile verbleiben, da er nicht-strukturschädigende Eigenschaften aufweist.

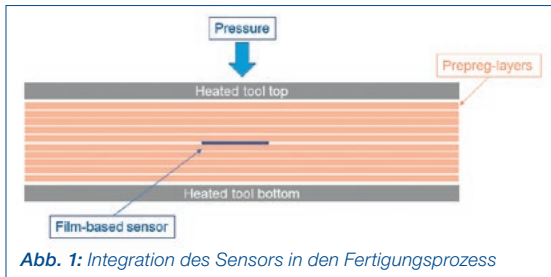
Das Kooperationsprojekt »FVK-Sensor« wurde Anfang 2023 mit den Projektpartnern Roos GmbH und 3D ICOM GmbH gestartet. Es wird im Rahmen des Förderprogrammes Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

Beschreibung

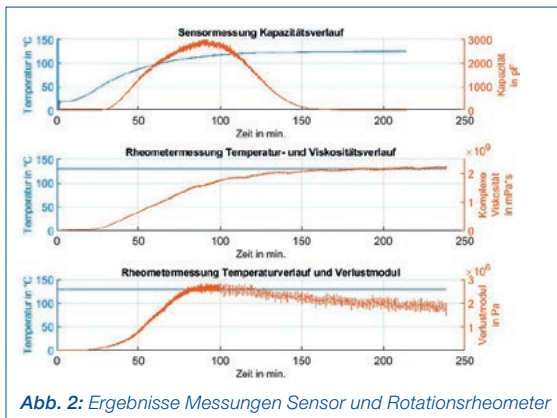
Das Kernziel des Projektes besteht in der Erforschung eines Sensors zur Messung der Aushärtekinetik eines Epoxidharzes in einem Prepreg. Dadurch soll eine Reduzierung des Energieverbrauchs erreicht werden. Die angestrebte Energieeinsparung beläuft sich auf bis zu 30 Prozent und basiert auf der Messung der veränderlichen Eigenschaften in Echtzeit.

Der Lösungsweg zur Erforschung des Sensorsystems umfasst folgende Teilbereiche:

- Erforschung des Aushärteverhaltens von Prepregs mit Epoxidharzmatrix
- Entwicklung eines Sensormusters zur Messung der Kenngrößen, wie z. B. Kapazität und elektrischer Widerstand sowie einer Auswerte-Elektronik
- Entwicklung eines Montagewerkzeugs für die Applikation der Sensoren auf Prepregs
- Erforschung der strukturellen Eigenschaften von ausgehärteten Bauteilen mit einlamierten Sensoren



Ein vertieftes Verständnis des Aushärtungsablaufs des Prepreg-Materials ermöglicht eine präzise Vorhersage der Prozessparameter wie Aushärtetemperatur und -dauer. Durch dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) und Rheometrie wurden optimale Prozessparameter ermittelt und ein Prozessfenster definiert. Analysen verschiedener Folienwerkstoffe führten zur Auswahl von PET- oder PI-Folien als Sensorträgermaterial. Anschließend wurde das Sensor-Layout entwickelt und ein Messsystem zur Erfassung von Temperatur, elektrischem Widerstand und Kapazität umgesetzt. Erste Messungen zeigten Übereinstimmung mit rheometrischen Ergebnissen (Abbildung 2). Das Ziel, einen Sensor zur In-situ-Messung der Aushärtekinetik zu erforschen und zu validieren, wurde erreicht. Zukünftig sind Erprobungen an Bauteilen der Luftfahrtindustrie geplant.



Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter, M. Sc. I. Möllmann

Fördersumme PHWT: 220.000 Euro

Bearbeitungszeitraum: 01.01.2023–31.12.2024

Zuwendungsgeber:



Aus der aktuellen Forschung

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

HIS-Monitor – Hyperspektral-Inline-Schmelze-Monitor: Entwicklung eines neuartigen hochdruckfesten Kombinations- Spektroskopie-Systems für den Inline-Einsatz im Kunststoff- spritzguss mit dem Ziel der kontinuierlichen Überwachung und Optimierung der Schmelzequalität

Einleitung

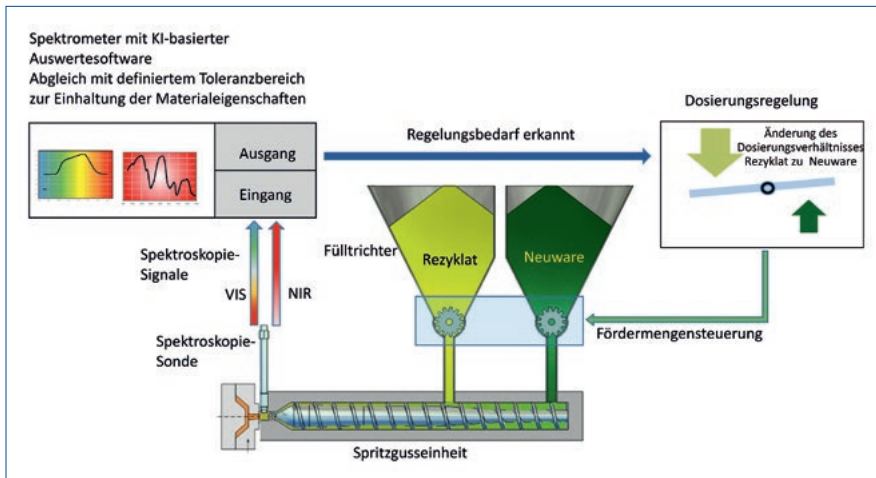
Für den Einsatz von Kunststoffrezyklaten im Sinne einer effektiven Kreislaufwirtschaft werden vom Gesetzgeber zunehmend Mindestquoten festgelegt. Besondere Quoten sind in der EU-Einwegkunststoffrichtlinie für Kunststoffe im Verpackungsbereich abzusehen, zum Beispiel beim Einsatz von PET mit 25 Prozent ab 2025 und 30 Prozent ab 2030.

Diese Kunststoffrezyklate haben den Herstellprozess eines Kunststoffbauteils mindestens einmal durchlaufen und sind thermisch/chemisch bereits geschädigt (Post Industrial Rezyklate PIR) oder stammen aus dem Müllrecycling der Endverbraucher und sind zusätzlich stark verunreinigt (Post Consumer Rezyklate PCR). Deshalb ist mit einer signifikanten Verschlechterung der Produkteigenschaften durch den Einsatz der Rezyklate zu rechnen. Um diesem Effekt entgegenzuwirken muss der Rezyklatanteil der Bauteile in Abhängigkeit von der Rezyklatqualität permanent nachgeregelt werden können.

Beschreibung

Im Juli 2023 wurde von den Partnern FOS Messtechnik und der PHWT das HIS-Monitor-Projekt (Hyperspektral Inline Schmelze-Monitor) gestartet, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM). Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines faseroptischen Hyperspektral-Inline-Schmelze-Monitoring-Systems, um die Qualität der Kunststoffschmelze am Beispiel der Zumischung von Rezyklaten zu messen und damit eine Regelung des Rezyklatanteils zur Optimierung der Produktqualität zu ermöglichen.

Es wird zu diesem Zweck eine Hyperspektral-Messsonde entwickelt und gebaut, die die Anforderungen an eine Verwendbarkeit im Spritzgussprozess (bis 3000 Bar) erfüllt und kontinuierliche Messungen sowohl an transparenten als auch an opaken



und farbigen Schmelzen in einem sehr breiten Hyperspektralbereich von 350 bis 2500 Nanometer ermöglicht. Dazu müssen geeignete Spektrometer optisch und software-technisch gekoppelt werden. Wichtig ist hier die Onlinedarstellung und Echtzeitauswertung von Messdaten aus einer kontinuierlichen Messung. Das Messsystem soll die optische und spektroskopische Identifikation von Misch- und Alterungseffekten sowie chemischen Reaktionen an Polymeren ermöglichen, dadurch die Qualität von Kunststoffen mit Rezyklatanteil deutlich verbessern und so die Voraussetzung schaffen, den Rezyklatanteil in den Produkten zu erhöhen.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Bye, Dipl.-Ing. T. Schröder, Dipl.-Ing. A. Schmitz

Fördersumme PHWT: 220.000 Euro

Bearbeitungszeitraum: 01.07.2023–30.06.2025

Zuwendungsgeber:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Hochpräzise Hohlflügelwellen – Entwicklung einer innovativen Heizschnecke mit hochpräziser Flügelfertigung zur Erwärmung und Ausgasung von Petrolkoks

Einleitung

Die effiziente Verarbeitung von Schüttgütern stellt in zahlreichen Industriezweigen eine zentrale Herausforderung dar, da diese eine Vielzahl unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften aufweisen. Von der Chemie- und Pharmaindustrie über die Lebensmittelproduktion bis hin zum Recycling kommen Förderschnecken als Transportlösungen zum Einsatz. Sogenannte Heizschnecken erfüllen neben ihrer Förderfunktion auch thermische Aufgaben wie das Temperieren von Produkten, wodurch sie essenzielle Prozesse in industriellen Wertschöpfungsketten unterstützen. Häufig wird der Wärmeaustausch durch doppelwandige Troge sowie durch beheizbare Hohlflügel realisiert, die mit Thermalöl durchströmt werden. Allerdings weist diese Technologie gravierende Einschränkungen auf: Der unvermeidbare Abstand zwischen Trogwand und Schneckenflügeln führt dazu, dass feine Schüttgüter nicht vollständig gefördert werden können, was insbesondere bei Heizprozessen die Gefahr einer lokalen Überhitzung oder Verklumpung birgt. Fertigungstechnische Herausforderungen wie Schweißverzug und ungenaue Flügelfertigung verschärfen dieses Problem zusätzlich.

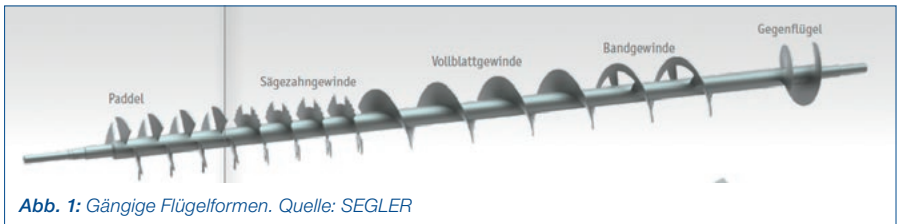


Abb. 1: Gängige Flügelformen. Quelle: SEGLER

Ein wachsender Bedarf an innovativen Lösungen zeigt sich insbesondere in Branchen wie der Batteriefertigung, wo extrem feine Schüttgüter wie Petrolkoks homogen erhitzt und gleichzeitig flüchtige Bestandteile ausgegast werden müssen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, verfolgt das vorliegende Kooperationsprojekt das Ziel, eine technologisch fortschrittliche, vierwellige Heizschnecke zu entwickeln, die mit präzisionsgefertigten Hohlflügelwellen ausgestattet ist. Eine zentrale Innovation liegt in der neuartigen Fertigungstechnologie, die das Schweißen der Flügel direkt auf der Welle überflüssig macht. Dadurch wird der Schweißverzug entlang der Längsachse minimiert, was die Voraussetzung für eine hochpräzise, ineinander kämmende Geometrie schafft. Ergänzend wird ein Algorithmus zur exakten Rondenberechnung entwickelt, um die Fertigungstoleranzen der Flügelsegmente drastisch zu reduzieren.

Beschreibung

Das gemeinsame Entwicklungsprojekt »Hochpräzise Hohlflügelwellen« ist im Oktober 2024 gestartet und wird durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.

Das Projekt profitiert von der engen Kooperation zwischen den Kooperationspartnern Segler-Förderanlagen Maschinenfabrik (SEGLER) und der PHWT. Während SEGLER die innovative Heizschnecke und die zugehörige Fertigungstechnologie entwickelt, fokussiert sich die PHWT auf die mathematische Modellierung und Optimierung des Fertigungsprozesses. Gemeinsam wird ein Beitrag zur Weiterentwicklung des Standes der Technik geleistet, um die Präzision und Effizienz in der Verarbeitung feiner Schüttgüter signifikant zu verbessern und neue Maßstäbe für industrielle Heizschnecken zu setzen.

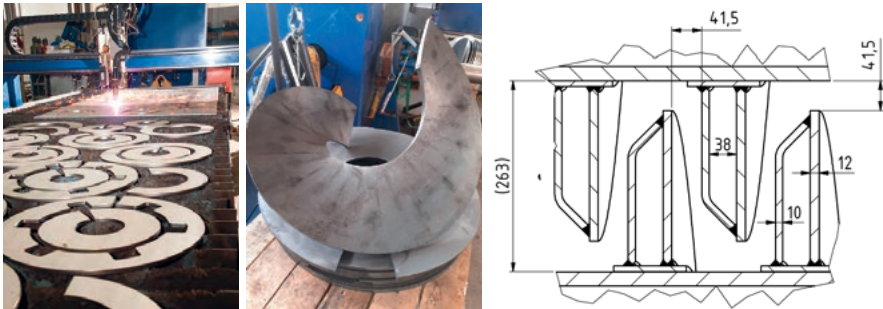


Abb. links: Ronden-Zuschnitte; Abb. Mitte: umgeformte Ronden, mit Umformmarkern;
Abb. rechts: zwei Kämmernde Wellen mit Hohlflügeln Quelle: SEGLER

Mit diesem Vorhaben wird ein entscheidender Schritt zur Weiterentwicklung von Heizschnecken-Technologien geleistet, der nicht nur in der Batteriefertigung, sondern auch in anderen Industriebereichen einen bedeutenden Mehrwert schaffen wird.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter, M.Sc. O. Kruse

Fördersumme PHWT: 219.221 Euro

Bearbeitungszeitraum: 01.10.2024 – 30.09.2026

Zuwendungsgeber:



Aus der aktuellen Forschung

Öffentliche Forschungsaktivitäten mit industriellen Kooperationspartnern

Stoppelmarkt-Besucherbefragung

Einleitung

Die Stadt Vechta ist 2023 an die PHWT mit der Bitte um Unterstützung bei der Durchführung einer Besucherbefragung auf dem Stoppelmarkt herangetreten. Die Erhebung gliederte sich in zwei Teile, eine Online-Befragung vor Beginn des Stoppelmarktes und eine Vor-Ort-Befragung.

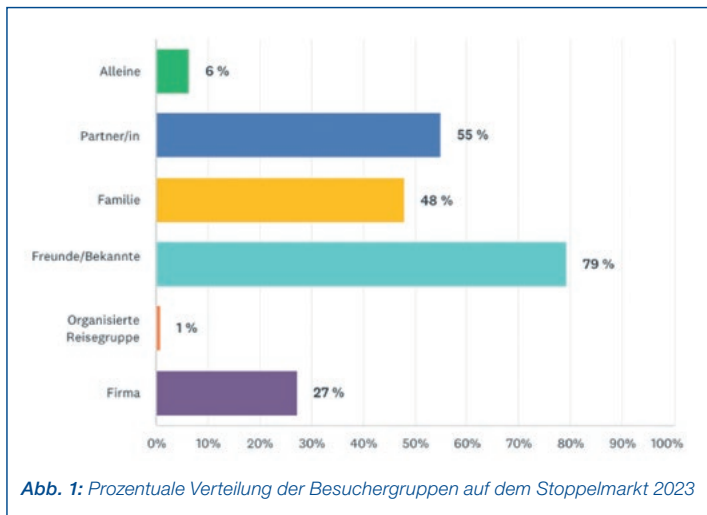


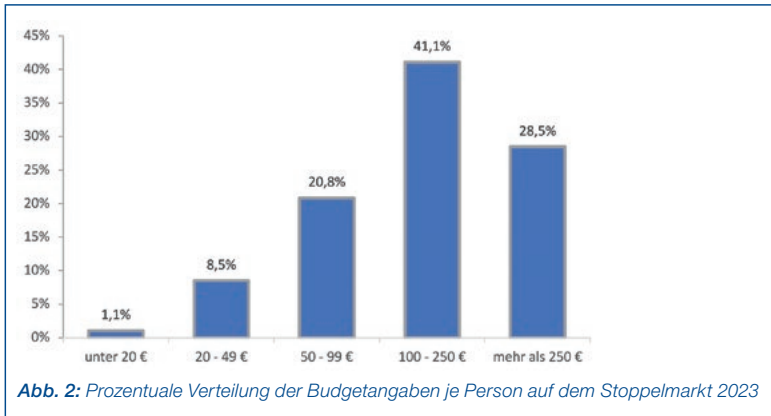
Abb. 1: Prozentuale Verteilung der Besuchergruppen auf dem Stoppelmarkt 2023

Beschreibung

Prof. Dr. Andreas Eiselt leitete das Projekt und beschäftigte sich mit der Programmierung des Fragebogens, der Durchführung der Befragung, der Bereinigung und Aufbereitung der Rohdaten sowie der Erstellung einer finalen Auswertung mit abgeleiteten Handlungsempfehlungen. Dabei stand die Qualität der Datenerfassung und Datenaufbereitung im Mittelpunkt des gesamten Prozesses.

Zunächst wurde ein Fragebogen mit 15 Fragen von einer gemeinschaftlichen Arbeitsgruppe der Stadt Vechta, der Marktbesucher und dem PHWT-Institut entwickelt. Dieser wurde in Bezug auf Formulierungen, Itemauswahl, Codierung und Fragenkombination unter Berücksichtigung marktforschungsspezifischer Kriterien für die Durchführung einer Online-Befragung optimiert.

An der Online-Befragung, auf die in verschiedenen Tageszeitungen und auf den Internetseiten der Stadt und der PHWT aufmerksam gemacht wurde, beteiligten sich über 4.000 Personen. Die Resonanz war überwältigend und auch medial sehr präsent. Im Rahmen der Vor-Ort-Befragung wurde ein Fragebogen Face-to-Face ausgefüllt, dabei wurden knapp 1.000 Personen befragt.



Fazit

Die Ergebnisse der beiden Befragungen wurden im Rahmen einer Ratssitzung im September 2023 dem Rat der Stadt Vechna präsentiert. Dabei konnten verschiedene Handlungsempfehlungen gegeben werden, die im Rahmen der Organisation des Stoppelmarktes 2024 auch umgesetzt wurden. Dadurch wurde der Stoppelmarkt zukunftssicher aufgestellt.

Projektdaten

Bearbeitung: Prof. Dr. A. Eiselt

Auftraggeber:



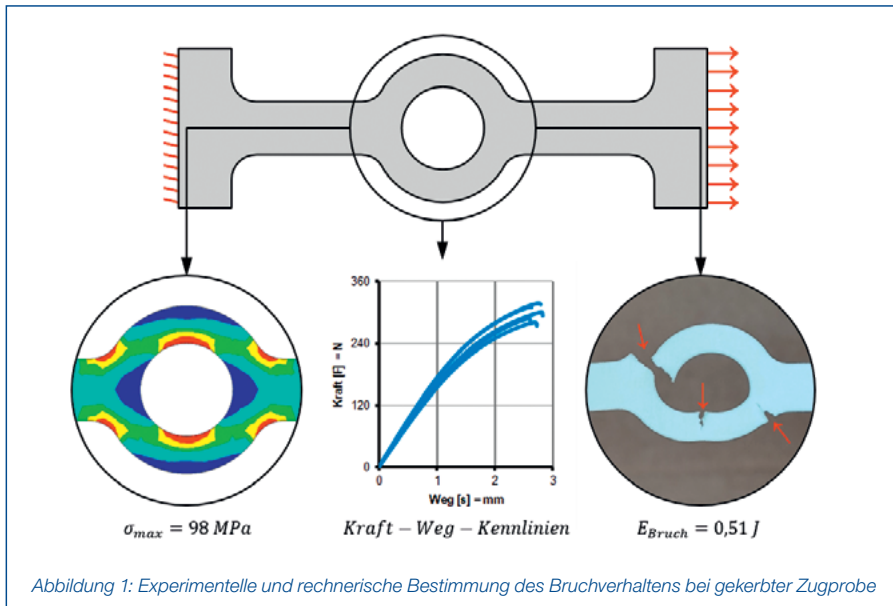
Steigerung der massenspezifischen Tragfähigkeit mechanischer Strukturbauteile durch Kerbformoptimierung

Eine der zentralen Herausforderungen bei der Auslegung lasttragender Konstruktionen besteht darin, die geforderte Tragfunktion zuverlässig sicherzustellen. Strukturbauteile dürfen unter Einwirkung äußerer Belastungen nicht versagen. Unter den zahlreichen Einflussfaktoren auf das Versagensverhalten von Tragstrukturen nehmen Kerben eine besondere Rolle ein. In nahezu jeder Konstruktion sind Kerben vorhanden. Die Analyse diverser Strukturbauteile – beispielsweise Träger, Halterungen, Pedale, Lagerböcke, Lenker oder Flansche – zeigt, dass der Kraftfluss auf dem Weg von der Lasteinleitung (Actio) zur Lastaufnahme (Reactio) meist mehrmals umgelenkt wird. Jede dieser Richtungsänderungen des Kraftflusses, die durch Bohrungen, scharfe Übergänge, kleine Radien, abrupte Querschnittsänderungen, Anschlussbereiche, Rippenknoten, Schweißpunkte oder Verbindungselemente hervorgerufen werden, kann zu versagensauslösenden Beanspruchungskonzentrationen führen.

Die Relevanz von Kerben für das Versagensverhalten mechanischer Strukturbauteile variiert je nach den spezifischen Gegebenheiten. Allgemein lässt sich jedoch feststellen, dass Kerben einen maßgeblichen Einfluss auf das Bruchverhalten von Tragstrukturen haben. Sie führen typischerweise zu einer Erhöhung der lokalen Beanspruchung (Spannungs-Hotspots) um 30 bis 400 Prozent in Bezug auf die Nennspannungen und sind häufig die »Achillesferse« mechanischer Konstruktionen.

Angesichts der hohen Bedeutung des Themas »Kerboptimierung« für die festigkeitsgerechte Bauteilauslegung existieren in der Literatur vergleichsweise wenige konkrete Empfehlungen zur Optimierung von Kerben. Daher ist eine fundierte Auseinandersetzung mit dem Thema »Kerboptimierung« sowie die Entwicklung praxisnaher Gestaltungsempfehlungen dringend erforderlich.

1. Kausale Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge: Ziel ist es, die kausalen Beziehungen zwischen verschiedenen Kerbformvariablen (Tiefe, Krümmung, Winkel, Anordnung, Anzahl) und den daraus resultierenden massenspezifischen Bruchenergien zu untersuchen. Dabei soll ein kausales Wirkungsgefüge entworfen werden, um die Wechselwirkungen der Variablen, ihre Relevanz im Hinblick auf die Zielgröße (maximale Bruchenergie pro Masse, E_{Bruch}/m) sowie Möglichkeiten zur Steuerung dieser Variablen zu erläutern.



2. Methodenentwicklung für die Kerbformgestaltung: Im Rahmen der Untersuchung soll ein methodisches Vorgehen zur Gestaltung von Kerben erarbeitet werden. Durch die symbiotische Kombination numerischer Berechnungsmethoden mit experimentellen Verifizierungsansätzen soll die Effizienz des Optimierungsprozesses gesteigert werden.
3. Gestaltungsempfehlungen für die Kerbformoptimierung: Weiteres Ziel ist es, die im Laufe der Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse zu konsolidieren und daraus die wirkungsvollsten Maßnahmen zur Steigerung der massenspezifischen Bruchenergie durch Kerbformoptimierung abzuleiten. Diese Empfehlungen sollen sowohl theoretisch begründet als auch durch quasistatische Versuche validiert werden (vgl. Abbildung 1).

Es handelt sich um ein kooperatives Promotionsverfahren zwischen der PHWT und der Universität Paderborn.

Rahmendaten zum Promotionsvorhaben

Promovend: A. Brunner

Betreuung PHWT: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter

Zyklusbasierte Leistungsmessungen zur Verbrauchsanalyse und automatisierten Energieoptimierung von Kunststoff-Spritzgießmaschinen

Einleitung

Im letzten Jahresbericht des PHWT-Instituts wurde aufgezeigt, dass das Spritzgießen mit einem Anteil von 48 Prozent an der gesamten Kunststoffstoffverarbeitungsindustrie zum Haupttreiber der steigenden Energieverbrauchsentwicklung in dieser Branche zählt. Als Vorbereitung auf eigene Leistungsmessungen wurde zunächst die ökologische Betrachtung des Prozesses vorangestellt. Die auf der ganzen Welt durchgeführten Ökobilanzierungen (Life Cycle Assessments) konnten zeigen, dass neben dem verwendeten Material vor allem auch die definierten Bilanzrahmen sowie der spezifische Energieverbrauch des Prozesses eine entscheidende Rolle für die ermittelten Umweltauswirkungen spielen. Mit diesem Rückblick folgt nun die Ergebnisdarstellung der eigenen Energieverbrauchsuntersuchungen.

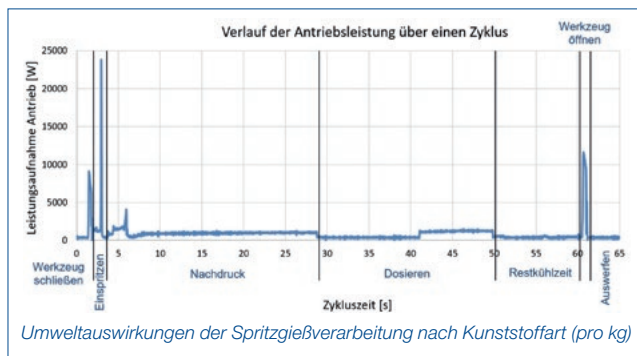
Beschreibung

Das Kunststoffspritzgießen ist ein Herstellungsverfahren zur Produktion von Serienbauteilen mit großer Stückzahl. Die Notwendigkeit einer großen Bauteilmenge liegt darin begründet, dass in diesem Verfahren grundsätzlich ein Werkzeug zur Formgebung der zähen, aufgeschmolzenen Kunststoffmasse benötigt wird, welches sich meist erst aber hoher Stückzahl rentiert. Das Werkzeug ist eine Hohlform, welche aus zwei Formhälften besteht, wovon die eine Hälfte an der beweglichen Aufspannplatte der Schließeinheit und die andere Hälfte an der stationären Aufspannplatte der Einspritzeinheit der Spritzgießmaschine montiert wird. Einspritz- und Schließeinheit, welche auf dem Maschinenbett und Schaltschrank positioniert werden, bilden als Verfahrensteil den grundsätzlichen Aufbau einer Spritzgießmaschine ab. Die Schließeinheit dient dem Öffnen und Schließen des Werkzeuges, zu dessen Zweck sie verfahren werden kann, sowie vor allem dem Zuhalten der Werkzeugplatten während des Einspritzvorganges. Je nach Maschine und Bauteilgröße können in diesem Prozessschritt mehr als 3000 Bar Druck anliegen.

Der Verfahrensablauf des Spritzgießens wiederholt sich dabei immer wieder, weshalb er auch Spritzgießzyklus genannt wird. Zu Beginn wird das Werkzeug mit der abzublindenden Bauteilkavität geschlossen (1). Im nächsten Schritt wird das Spritzaggregat an das Werkzeug vorgefahren (2) und die aufgeschmolzene Kunststoffmasse in das Werkzeug gespritzt (3). Da die Schmelze von nun an bereits an der Werkzeugwand abkühlt, beginnt mit diesem Schritt auch gleichzeitig schon die Kühlzeit.

Um der Volumenschwindung durch Abkühlung entgegenzuwirken, folgt nach definierter Zeit die Nachdruckphase (4), in welcher zusätzliche Kunststoffmasse in das Werkzeug gedrückt wird. Während nun gewartet werden muss, bis das Bauteil auf eine formstabile Temperatur abgekühlt ist, wird das Aggregat der Spritzeinheit vom Werkzeug zurückverfahren (5) und neues Kunststoffmaterial aufgeschmolzen (6). Ist die Restkühlzeit beendet (7), kann das Bauteil ausgeworfen werden (8) und ein neuer Zyklus beginnt mit dem Schließen (1) des nun wieder ungefüllten Werkzeuges.

Dieser, für das Spritzgießverfahren typische, Prozesszyklus spiegelt sich auch in der Leistungsaufnahme des Maschinenantriebs wider. Der Leistungsverlauf für die Herstellung einer Doppel-Zugstabprobe aus PP auf einer vom Hersteller als voll-elektrisch beschriebenen Spritzgießmaschine ist in der Abbildung unten dargestellt.



Eine eigens mittels Machine-Learning (ML) trainierte Software ermöglicht auf Basis dieses Leistungsverbrauchs anschließend die automatisierte Unterteilung des Gesamtverbrauchs der Spritzgießmaschine auf all ihre Aggregate

wie Zylinderheizung, Maschinenkühlung, Robotik usw. sowie die zuvor beschriebenen Prozessschritte (1–8). Des Weiteren erfolgt die Bereitstellung der aktuellen Verbrauchskennzahlen pro Bauteil (kWh/Bauteil) bzw. pro Kilogramm verarbeitetem Kunststoff (kWh/kg). Aktuell wird im finalen Schritt daran gearbeitet, dass generierte ML-Skript zur Erkennung des optimalen Betriebspunktes der Maschine zu nutzen und anschließend in die Steuerung einer Spritzgießmaschine zu implementieren.

Rahmendaten zum Promotionsvorhaben

Promovend: M.Sc. S. Kerkenberg

Betreuung: Prof. Dr.-Ing. C. Bye (PHWT), Prof. Dr.-Ing. H.-J. Endres

(Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik Leibniz Universität Hannover)

Stipendienggeber:

Egon
Schumacher
Stiftung



Erforschung von Berechnungsmethoden zur Vorhersage nicht trivialer Blechgeometrien im Kontext hochpräziser Blechumformungen

Einleitung

Die präzise Umformung komplexer Blechgeometrien stellt eine zentrale Herausforderung in der modernen Fertigungstechnik dar. Bauteile mit anspruchsvoller Geometrie, wie beispielsweise hohle oder spiralförmige Strukturen, sind essenziell für eine Vielzahl technischer Anwendungen. Die Herstellung solcher Komponenten erfordert fortschrittliche Fertigungstechnologien, die sowohl den hohen Anforderungen an Maßhaltigkeit als auch den mechanischen Belastungen im Betrieb gerecht werden.

Ziel dieses Promotionsvorhabens ist die Erforschung und Optimierung von Berechnungsverfahren zur Vorhersage nicht trivialer Blechgeometrien vor und nach einer Umformung. Dabei stehen neben der experimentellen Untersuchung und Materialanalyse die Erarbeitung analytischer und numerischer Simulationsmethoden sowie innovativer Konstruktionsverfahren im Fokus. Die Ergebnisse sollen zu einer verbesserten Fertigungsqualität und einer Reduktion von Fertigungstoleranzen führen, wodurch ein signifikanter Beitrag zur Weiterentwicklung der Umformtechnik geleistet werden kann.

Beschreibung

Das Promotionsvorhaben fokussiert sich auf die Erforschung und Optimierung von Berechnungsverfahren für die hochpräzise Umformung geometrisch komplexer Blechbauteile. Ziel ist es, die wissenschaftlichen Grundlagen dieser anspruchsvollen Fertigungstechnologien zu erweitern und gleichzeitig praktische Lösungsansätze für aktuelle Herausforderungen zu erarbeiten. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Materialanalyse, der Prozessmodellierung, der numerischen Simulation und der Validierung u. a. durch Prototypenfertigung.

Eine wesentliche Herausforderung bei der Umformung solcher komplexen Geometrien besteht in der präzisen Steuerung der Umformparameter während des Fertigungsprozesses. Phänomene wie Rückfederung, Schweißverzug oder lokale Verfestigungen können die Formgenauigkeit und mechanische Belastbarkeit der Bauteile signifikant beeinflussen.

Um dies zu adressieren, werden die zu verwendenden Werkstoffe zunächst systematisch charakterisiert, um ihre Eigenschaften unter den spezifischen Bedingungen des angestrebten Umformprozesses zu analysieren. Dabei spielen Parameter wie Materialdicke, Spannungszustände und thermische Einflüsse eine zentrale Rolle. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden die Umformprozesse so optimiert, dass eine präzise Geometriekontrolle ermöglicht und Fertigungsfehler minimiert werden.

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Entwicklung und Validierung numerischer Simulationsmethoden. Durch den Einsatz der Finite-Elemente-Methode (FEM) sollen mechanische Verformungen und Spannungsverteilungen im Umformprozess präzise vorhergesagt werden. Es sollen relevante Einflussgrößen identifiziert und in das umfassende Simulationsmodell integriert werden. Die Simulation dient nicht nur der Prozessoptimierung, sondern ermöglicht auch eine signifikante Reduktion des experimentellen Aufwands, da potenzielle Schwachstellen frühzeitig erkannt und behoben werden können. Dabei erfolgt ein kontinuierlicher Abgleich der Simulationsergebnisse mit experimentellen Daten aus Funktionstests und Prototypenfertigungen, um eine maximale Genauigkeit und Praxisnähe zu gewährleisten.

Die Validierung der entwickelten Technologien erfolgt durch die Fertigung realbauteilähnlicher Prototypen, die unter realistischen Bedingungen umgeformt und geprüft werden. Ziel dieser Tests ist es, die theoretischen Modelle und Simulationsvorhersagen durch praktische Ergebnisse zu bestätigen. Dabei wird untersucht, inwiefern die optimierten Prozesse eine gleichbleibend hohe Maßhaltigkeit und mechanische Festigkeit der Bauteile gewährleisten. Zusätzlich werden die Prototypen auf ihre thermische Stabilität getestet, um sicherzustellen, dass sie auch unter herausfordernden Einsatzbedingungen zuverlässig funktionieren. Die gewonnenen Daten aus diesen Tests fließen wiederum in die Optimierung der numerischen Modelle ein.

Es handelt sich um ein kooperatives Promotionsverfahren zwischen der PHWT und der Universität Paderborn.

Rahmendaten zum Promotionsvorhaben

Promovend: O. Kruse

Betreuung PHWT: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter

Bestimmung des Aushärtegrads eines Epoxidharzsystems in Prepregs: Untersuchung von Messmethoden, Simulationsansätzen und Prozessparametern im Autoklav-Verfahren

Einleitung

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK), bestehend aus einem Fasergewebe und einem Matrixwerkstoff, werden aufgrund ihrer guten spezifischen mechanischen Eigenschaften, wie geringe Dichte und hohe Festigkeit, häufig als Leichtbauwerkstoffe eingesetzt. Sie bieten Vorteile wie Korrosionsbeständigkeit und freie Formgestaltung. Die hauptsächlichen Anwendungsfelder umfassen die Luft- und Raumfahrt, die Windkraft sowie den Bootsbau. Die Fertigung von Faserverbundbauteilen ist derzeit aufgrund hoher Kosten, komplexer Produktionsverfahren und begrenzter Automatisierung für viele Betriebe herausfordernd. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, untersucht das vorgestellte Vorhaben das Aushärteverhalten von Epoxidharzen sowie industrielle Messmethoden und Simulationsansätze. Ziel ist die Optimierung von Qualität, Kosten und Nachhaltigkeit durch eine gezielte Vorhersage von Prozessparametern und mathematischen Modellierungen zur Beschreibung dieser.

Beschreibung

Es gibt diverse Herstellungsverfahren von Faserverbundbauteilen. Das in dieser Arbeit vorrangig betrachtete Fertigungsverfahren ist das Autoklav-Verfahren, bei dem Prepregs, mit Harz vorimprägnierte Fasermatten, unter Temperaturen von ca. 120 bis 200 °C und Druckaufbringung von bis zu 7 bar ausgehärtet werden. Dieses Verfahren ist als kostenintensiv und ressourcenaufwendig zu bewerten. Die Qualität wird maßgeblich von Parametern wie Temperatur, Druck und Materialeigenschaften beeinflusst. Eine präzise Optimierung der Aushärteprozesse könnte zu einer Senkung der Kosten um bis zu 30 Prozent führen, was eine Förderung der Nachhaltigkeit bewirken würde.

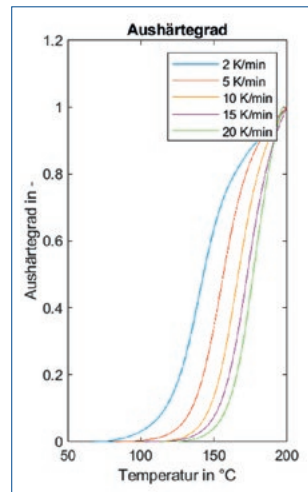
Zur Zielerreichung gliedert sich die Arbeit in drei Schwerpunkte:

1. Bestimmung der Aushärtemuster eines Harzsystems in einem Prepreg
2. Erforschung einer Messmethode zur In-situ-Prozessüberwachung
3. Aufbau einer Simulationsmethodik zur multiphysikalischen Simulation der ablaufenden Materialänderungen

Zur Bestimmung der Aushärtung des Matrixwerkstoffes wird häufig der Aushärtegrad verwendet. Diese dimensionslose Kennzahl charakterisiert die chemische Reaktion der Edukte, dem Bisphenol und dem Amin, aus denen das Epoxidharz gebildet wurde.

Der Vernetzungszustand vom unvernetzten bis endvernetzten Zustand kann in der Abbildung in Abhängigkeit von der Temperatur und Aufheizung entnommen werden. Es ist zu erkennen, dass die Reaktion bei steigender Aufheizrate beschleunigt wird.

Mithilfe des an der PHWT entwickelten Sensorsystems ist es möglich, eine In-situ-Prozessüberwachung der Aushärtung des Prepregs durchzuführen.



Im weiteren Verlauf der Dissertation ist geplant, eine Korrelation zwischen den Sensorergebnissen und den Ergebnissen der DSC-Analysen zu treffen. Dazu ist angestrebt, eine mathematische Beziehung zur Berechnung des Aushärtegrads aus den Messergebnissen des Sensors abzuleiten.

Es handelt sich um ein kooperatives Promotionsverfahren zwischen der PHWT und der Universität Paderborn.

Rahmendaten zum Promotionsvorhaben

Promovendin: I. Möllmann

Betreuung PHWT: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter

Soziale Interaktion und Machtverhältnisse in Unternehmen – entropiebasierte Analysen und Bewertungen von Machtstrukturen

Einleitung

Unternehmen und die soziale Interaktion in diesen befinden sich in einem stetigen Wandel. Die wechselnde Zusammenarbeit individueller Menschen mit ihren persönlichen Wertevorstellungen und Prioritäten macht diesen stetigen Wandel unausweichlich. Auch die deutlich gesteigerte Remote-Arbeit, die durch die Coronapandemie ab dem Jahr 2020 einen Schub bekommen und ein »New Way of Working« eingeleitet hat, verstärkt diese fortwährenden Veränderungen. Auf der qualitativen Ebene werden und wurden die Kooperations- und Organisationsstrukturen in Unternehmen in unterschiedlichen Forschungsvorhaben untersucht. Aber welche Implikationen (bspw. in Bezug auf Machtstrukturen) ergeben sich auf einer quantitativen Ebene?

Beschreibung

Neben einem ersten Diskussionsbeitrag an der PHWT ist eine gemeinsame internationale Publikation mit dem Titel »Social interaction and power relations in companies: An entropy-based approach using the expert system Shell-SPIRIT« im Fachjournal »Decision Support Systems (DSS) and Tools« entstanden. In dem veröffentlichten Buchbeitrag wird ein neuer Ansatz vorgestellt, mit dem das Leistungspotenzial des an der FernUniversität Hagen entwickelten Expertensystems Shell-SPIRIT durch eine neue Berechnungsmethode gesteigert wird. In bisherigen Publikationen werden für die Berechnungen in SPIRIT Rangfolgen verwendet. Mit dem neu entwickelten Ansatz sind diese Rangfolgen nicht mehr nötig, stattdessen werden direkt in SPIRIT gewichtete Inputfaktoren verwendet. Dies ermöglicht einen schnelleren und transparenteren Analyseprozess in SPIRIT für unterschiedlichste Anwendungsfelder quantitativer entscheidungsunterstützender Modelle. Der neue Berechnungsansatz wurde bereits an dem hochaktuellen Fallbeispiel sich verändernder sozialer Machtverhältnisse in Unternehmen durch den »New Way of Working« nach der Coronapandemie vorgestellt. Im April 2024 hat Maximilian Schröer zudem am ersten Doktorandenseminar an der FernUniversität in Hagen unter der Leitung von Prof. Dr. Andreas Kleine (Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Quantitative Methoden und Wirtschaftsmathematik) teilgenommen, der voraussichtlich auch der Zweitgutachter des Promotionsvorhabens sein wird. Es handelt sich um ein kooperatives Promotionsverfahren zwischen der PHWT und der FernUniversität in Hagen.

Rahmendaten zur Promotion

Promovend: M. Schröer, CFO der Siegwerk Ventures in Köln
Betreuung PHWT: Prof. Dr. E. Reucher

Regelbasiertes Risikomanagement für ein deutsches Wasserwerk

Einleitung

In der betriebswirtschaftlichen Literatur findet man eine Vielzahl von Publikationen zum Thema Risikomanagement, das in Wirtschaftsunternehmen in jüngerer Zeit aufgrund geänderter rechtlicher Rahmenbedingungen zunehmend an Bedeutung gewinnt. Wurden früher qualitative und intuitive Verfahren primär zur Messung von Risiken eingesetzt, so kommen heute in der Praxis verstärkt auch quantitative Methoden zum Einsatz. Ziel der von T. Genzel angestrebten Promotion ist es, ein praxisnahes, regelbasiertes Modell zur Risikoanalyse für seinen Arbeitgeber zu entwickeln, das auf einem entropiebasierten Ansatz der probabilistischen Wissensverarbeitung fußt.

Beschreibung

Die Promotion soll in Kooperation mit der PHWT-Partnerhochschule Edge Hill University in Ormskirk in der Nähe von Liverpool durchgeführt werden. In einem ersten Schritt wird der Promovend nach einer intensiven Literaturrecherche zunächst ein aussagekräftiges »Proposal« zum Thema »Regelbasiertes Risikomanagement« erstellen, in dem Thema, Ziel und Fachbereich der Arbeit nachvollziehbar beschrieben werden. Dies dient dann als Diskussionsgrundlage für den fachlichen Austausch mit Fachvertretern der Edge Hill University, um von dort einen potenziellen Zweitgutachter zu gewinnen. Geplant ist das Ganze für das erste Quartal 2025. Danach erfolgen entsprechende Forschungsaktivitäten zu dem Themengebiet von T. Genzel auch mit gelegentlichen Präsenzaufenthalten in England, die dann in einer umfassenden Dissertationsschrift publiziert werden sollen.

Es handelt sich um eine geplante Promotion in Kooperation mit der Edge Hill University, Ormskirk, England.

Rahmendaten zum Promotionsvorhaben

Promovend: T. Genzel, Ingenieur bei den Wasserwerken in Vechta
Betreuung PHWT: Prof. Dr. E. Reucher

Erforschung einer Berechnungsmethodik zur optimierten Auslegung von Schneckenwärmetauschern im Hinblick auf Effizienz und Ressourcenverbrauch

Einleitung

Schneckenwärmetauscher werden in einer Vielzahl von Prozessen zur Kühlung und gleichzeitiger Förderung von Schüttgütern eingesetzt. Sie ermöglichen einen sicheren Transport unter erhöhten Temperaturen und können bei Bedarf unter Luftabschluss Schüttguttemperaturen von bis zu 1.000 °C fördern. Die Anlagen werden dabei immer effizienter und leistungsfähiger. Insbesondere bei sogenannten Brownfield-Projekten – also im Bestand – ergeben sich daraus komplexe Herausforderungen. So müssen immer höhere Wärmeströme bei gleicher Anlagenbaulänge sowie – aufgrund von statischen Bedingungen – gleichem Anlagengewicht erreicht werden. Aus diesem Grund stellt die Optimierung der Wärmeströme, auch unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten, einen wichtigen Faktor in der Verbesserung von Schneckenwärmetauschern dar.

Beschreibung

Schüttgüter, wie bspw. Stärke zur Herstellung von Weingummi oder Zementstäube, weisen unterschiedliche Materialeigenschaften auf, die unter Umständen standortbezogen variieren können. Oftmals liegen nicht ausreichend Materialkennwerte vor oder die Erhebung dieser Kennwerte kann unter wirtschaftlichen Aspekten nicht erfolgen. Insofern können Potenziale von existierenden Softwarelösungen nicht vollends ausgeschöpft oder realitätsnah erschlossen werden.

Um eine alternative Methode zur Simulation und Optimierung von Wärmeströmen in Schneckenwärmetauschern zu ermöglichen, kann eine Kombination aus unterschiedlichen Berechnungsansätzen erfolgen. Durch das sogenannte Penetrationsmodell kann eine verweilzeit- und durchmischungsabhängige Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten erfolgen. Basis für diese Berechnung bilden Durchmischungssimulationen mit dem DEM-Simulationsprogramm Ansys Rocky. Die Berechnungen erfolgen in Abhängigkeit des Füllgrads und der Drehzahl, welche als Parameter im Betrieb variiert werden können.

Die Durchmischungssimulation ermöglicht die statistische Auswertung der Durchmischung zweier Partikel in einem definierten Auswertungsraum. In der Abbildung sind die farblich getrennten Partikel im nicht durchmischten und durchmischten Zustand dargestellt. Der durchmischte Zustand wird in Abhängigkeit der Schneckenflügelgeometrie

nach einer definierten Anzahl und Umdrehungen erreicht, wodurch Rückschlüsse auf Mischkennzahlen in Abhängigkeit der Parameter getroffen werden können.



Die Ergebnisse der Mischkennzahlen aus der DEM-Simulation und die Wärmeübergangskoeffizienten aus dem Ansatz des Penetrationsmodells können als Eingabedaten für das numerische Ersatzmodell genutzt werden. Durch das numerische Ersatzmodell können schließlich für unterschiedliche Betriebsparameter Wärmeströme und Betriebstemperaturen für Schneckenwelle und Trog errechnet und ausgewertet werden.

Die simulierten Wärmeströme in Abhängigkeit der Betriebsparameter können für unterschiedliche Schneckenwellen verglichen werden, um für den jeweiligen Anwendungsfall eine Maximierung des Wärmestroms zu erreichen. Letztendlich führt die Maximierung der Wärmeströme zu einer kürzeren Wärmetauscherlänge oder einer höheren Durchsatzleistung. Im Vergleich zu Bestandsanlagen bei Brownfield-Projekten kann somit eine Leistungssteigerung unter gleichen statischen Belastungen erfolgen und unter Umständen eine Projektrealisierung überhaupt erst ermöglicht werden.

Es handelt sich um ein kooperatives Promotionsverfahren zwischen der PHWT und der Universität Paderborn.

Rahmendaten zum Promotionsvorhaben

Promovend: M. Wittje

Betreuung PHWT: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter

Nachhaltige Beton-GFK-Hybridstrukturen für zukunftsfähige Tragwerke im Bauwesen

Einleitung

Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Baumaterialien und Konstruktionsmethoden stellt einen entscheidenden Faktor für die Effizienz und Nachhaltigkeit moderner Bauwerke dar. Beton-Glasfaserverbundkunststoff (GFK)-Hybridstrukturen stellen eine innovative Bauweise dar, welche die Vorzüge von Beton (hohe Druckfestigkeit) und GFK (geringes Gewicht, hohe Korrosionsbeständigkeit) vereinen. Die Limitierungen traditioneller Beton-Stahl-Verbundträger, wie Korrosion, hohes Gewicht, Wartungsaufwand und Umweltbelastungen, könnten dadurch überwunden werden.

Das Promotionsvorhaben widmet sich der Untersuchung der mechanischen Eigenschaften, des Verbundverhaltens sowie der Fertigung von Beton-GFK-Hybridstrukturen. Das übergeordnete Ziel besteht in der Entwicklung innovativer Lösungen für dauerhafte, leistungsstarke und kosteneffiziente Tragstrukturen, welche heutigen und zukünftigen Anforderungen hinsichtlich Effizienz und Nachhaltigkeit gerecht werden.

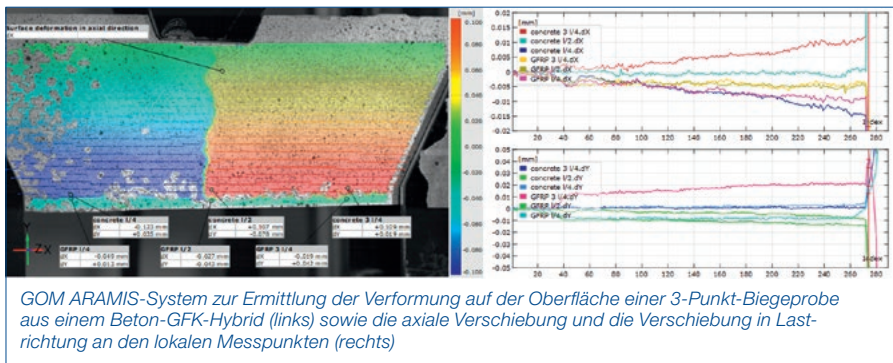
Beschreibung

GFK kann durch automatisierte, sog. Pultrusionsverfahren sehr effizient zu leistungsfähigen Profilen verarbeitet werden. Dabei weisen die Profile eine höhere Gestaltungsfreiheit hinsichtlich ihres Querschnitts als beispielsweise Stahlträger auf. Das beschriebene Verfahren ermöglicht eine kontinuierliche Anordnung der Glasfasern in Längsrichtung des Profils, was zu einer signifikant höheren Festigkeit und Steifigkeit mit einem Biege-Elastizitätsmodul von 20.000 bis 45.000 MPa führt. Bei Beton-GFK-Hybridstrukturen weist die Tragkonstruktion eine Materialkombination aus Beton und GFK auf, wobei der Beton im Druckbereich und der GFK im Zugbereich eingesetzt wird. Dadurch können die jeweiligen positiven Eigenschaften der Materialien optimal genutzt werden. Außerdem erfüllen die GFK-Bauteile die Funktion einer Schutzhülle für den Beton, um ihn vor Umwelteinflüssen zu bewahren und dessen Lebensdauer zu verlängern.



Versuchskörper einer Beton-GFK-Hybridstruktur a) Herstellung b) Endzustand c) Biegeprüfung der Probe

Die Analyse des detaillierten Verhaltens der Beton-GFK-Hybridstruktur unter Belastung, insbesondere in den Verbindungsbereichen, lässt sich z. B. mittels eines optischen Messsystems (GOM-ARAMIS) durchführen. Im Bereich der Verbindung von Beton und GFK werden jeweils eine Reihe von Messpunkten an jedem Element definiert. Das Zusammenwirken der beiden Elemente lässt sich durch die Analyse des Verhaltens der einzelnen Messpunkte präzise erfassen und beschreiben. Des Weiteren erfolgt eine Quantifizierung und Analyse der Dehnungsverteilung der Hybridstruktur vor der Bruchlast sowie der Rissentstehung bei Erreichen der Bruchlast bis hin zum Versagen.



GOM ARAMIS-System zur Ermittlung der Verformung auf der Oberfläche einer 3-Punkt-Biegeprobe aus einem Beton-GFK-Hybrid (links) sowie die axiale Verschiebung und die Verschiebung in Last-Richtung an den lokalen Messpunkten (rechts)

Es handelt sich um ein kooperatives Promotionsverfahren zwischen der PHWT und der Universität Paderborn.

Rahmendaten zum Promotionsvorhaben

Promovend: Z. Yang

Betreuung PHWT: Prof. Dr.-Ing. C. Lauter

Baral, A.: **Auslegung mechatronischer Antriebssysteme**. In: Jahrbuch Elektromaschinen und Antriebe 2023, Herausgeber: Behrens, P., Hühthig Verlag

Baral, A.: **Einführung in die thermische Berechnung elektrischer Antriebe**. In: Jahrbuch Elektromaschinen und Antriebe 2024, Herausgeber: Behrens, P., Hühthig Verlag

Baral, A.: **Der Schrittmotor**. In: Jahrbuch Elektromaschinen und Antriebe 2025, Herausgeber: Behrens, P., Hühthig Verlag

Baral, A.: **Einführung in die Finite Elemente Methode**. In: Jahrbuch Elektromaschinen und Antriebe 2025, Herausgeber: Behrens, P., Hühthig Verlag

Bye, C.: **Fügen durch Umformen**. In: Fertigungstechnik, Hg.: Fritz, A.-H.; Schmütz, J., 14. Auflage, Springer-Vieweg Verlag, Kapitel 5.10, 2025

Eiselt, A., Müller, S.: **Kapitalflussrechnung nach IFRS und DRS 21: Darstellung und Analyse von Cashflows und Zahlungsmitteln**, 3. Auflage, 2024

Eiselt, A., Müller, S.: **Weiterer Verbesserungsbedarf an den Regelungen zur Kapitalflussrechnung?** – EFRAG unterstützt Diskussionsprozess zum IASB Forschungsprojekt zu IAS 7. In: IRZ 2025, S. 111-117.

Eiselt, A., Müller, S.: **Kennzahlengestützte empirische Analyse der CO₂-Emissionen der DAX40-Unternehmen**. In: Zeitschrift für kapitalmarktorientierte und internationale Rechnungslegung (KoR) 2023, S. 347-353

Jammer, D., Junglas, P., Pawletta, S.: **Solving ARGESIM Benchmark CP2 "Parallel and Distributed Simulation" with Open MPI and Matlab PCT – Lattice Boltzmann Simulation**. SNE Simulation Notes Europe 33/2 (2023), 93–100, DOI: 10.11128/sne.33.bnpc2.10646.

Jammer, D., Junglas, P., Pawletta, T., Pawletta, S.: **A Simulator for NSA-DEVS in Matlab**. SNE Simulation Notes Europe 33/4 (2023), 141–148, DOI: 10.11128/sne.33.sw.10661.

Jammer, D., Junglas, P., Pawletta, T., Pawletta, S.: **Modeling and Simulation of a Realworld Application using NSA-DEVS**. SNE Simulation Notes Europe 33/4 (2023), 149–156, DOI: 10.11128/sne.33.tn.10662.

Junglas, P.: **Implementing Thermodynamic Cyclic Processes Using the DLR Thermofluid Stream Library**. SNE Simulation Notes Europe 33/4 (2023), 175–182, DOI: 10.11128/sne.33.sw.10665.

Junglas, P.: **Mathematical Problems due to Oversimplification**. Wismarer Frege-Reihe 1 (2023), 27–41

Junglas, P., Schmedes, L.: **Discrete event-based modeling of conveyors for dry bulk material**. SNE Simulation Notes Europe 33/3 (2023), 133–140, DOI: 10.11128/sne.33.tn.10655.

Junglas, P.: **Special Functions for Engineers**. Gottlob-Frege-Zentrum. 5. Northern-Light Symposium on Engineering Education – PHWT Diepholz. 2024

Junglas, P., Jammer, D., Pawletta, T., Pawletta, S.: **Using component-based discrete-event modeling with NSA-DEVS – an invitation**. Proc. ASIM SST 2024, 27. Symposium Simulationstechnik

Lauter, C.; Brunner, A.: **Kleiner Aufwand – große Wirkung: Design minimal optimieren, maximal Materialkosten senken**. Konstruktionsteiler Forum, Würzburg, 2023.

Möllmann, I., Laubrock, M., Banker, F., Coolen, J.: **Messwagen für archäologische Bodenuntersuchungen**. In: Fachvortrag auf den Osnabrücker Leichtbautagen, Osnabrück, 2024

Möllmann, I., Lauter, C.: **Non-structurally damaging film-based sensors for in-situ manufacturing process and curing monitoring of fibre-reinforced composites**. In: Proceedings of the 21th European Conference on Composite Materials, Nantes, 2024

Pawletta, T., Jammer, D., Junglas, P., Pawletta, S.: **Visual NSA-DEVS Modeling Using an Adapted DEVS Diagram**. Proc. ASIM SST 2024, 27. Symposium Simulationstechnik

Schröer, M., Reucher, E.: **Social Interaction and Power Relations in Companies: An Entropy-based Approach Using the Expert System Shell-SPIRIT**. T. M. M. Nguyen (Hrsg.), Decision Support Systems (DSS) and Tools, <https://www.intechopen.com/online-first/1152516> (2023), 1-19.

Schröer, M., Reucher, E.: **Soziale Interaktion und Machtverhältnisse in Unternehmen: Auswirkungen von „New Way of Working“ – Ein erster probabilistischer Ansatz**. Diskussionsbeitrag des Studienbereichs Betriebswirtschaft der Privaten Hochschule für Wirtschaft und Technik (PHWT), Nr. 4 (2023).

Yang, Z.; Lauter, C.: **Development of a modular and flexible construction system for a self-supporting and modular bridge formwork made of fibre-reinforced plastics**. ECCM21: 21th European Conference on Composite Materials, Nantes, 2024.

Prof. Dr.-Ing. Andreas Baral, baral@phwt.de
Dipl.-Ing. Oliver Berendes, berendes@phwt.de
Prof. Dr.-Ing. Peter Blömer, pbloemer@phwt.de
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Brunner, brunner@phwt.de
Prof. Dr.-Ing. Carsten Bye, bye@phwt.de
Dipl.-Ing. Michael Düvel, duevel@phwt.de
Prof. Dr. Andreas Eiselt, eiselt@phwt.de
M.Sc. Sönke Gerdes, gerdes@phwt.de
Prof. Dr. Peter Junglas, junglas@phwt.de
M.Sc. Stefan Kerkenberg, kerkenberg@phwt.de
M.Sc. Sören Kray, kray@phwt.de
M.Sc. Oliver Kruse, o.kruse@phwt.de
Prof. Dr.-Ing. Christian Lauter, lauter@phwt.de
M.Sc. Imke Möllmann, moellmann@phwt.de
Prof. Dr. Elmar Reucher, reucher@phwt.de
Dipl.-Ing. Antje Schmitz, schmitz@phwt.de
Dipl.-Ing. Thomas Schröder, schroeder@phwt.de
M.Sc. Zhikun Yang, yang@phwt.de



Weitere Informationen zu den Mitarbeitenden im PHWT-Institut finden Sie auf der Homepage der PHWT unter <https://www.phwt.de/lehrende-mitarbeitende/>

**Private Hochschule
für Wirtschaft und Technik
Vechta/Diepholz**
PHWT-INSTITUT

Ann-Christin Bajohr
Assistenz der Institutsleitung
Am Campus 3
49356 Diepholz
Tel. 05441 992-156
bajohr@phwt.de